

At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity, de Stuart Kauffman. New York: Oxford University Press, 1995. 321 pp. £20.

No seu ensaio sobre as Origens intitulado *Creation* (ulteriormente *Creation Revisited*), o químico Peter Atkins reúne uma colecção de metáforas e orientações relativas à origem do espaço, do tempo e de certas estruturas no Universo. Na primeira página adverte-nos logo que não é preciso contar a história toda..., pois uma grande parte do Universo não requer explicação. «Olhem, por exemplo os elefantes. Basta que as moléculas aprendam a criar outras moléculas à sua imagem, e logo os elefantes e outras coisas parecidas são encontrados a deambular pela paisagem...»

Mas Stuart Kauffman, que é cofundador da nova ciência da complexidade, e até publicou em 1993 um livro de referência sobre a emergência de ordem nos sistemas complexos (*The Origins of Order, Self-Organization and Selection in Evolution*), revela-nos em *At Home in the Universe* a chave do enigma dos proboscídeos, a saber, por que percorrem, afinal, os elefantes a paisagem.

At Home in the Universe conduz-nos, através de uma miríade de experiências computacionais, ao mundo dos sistemas complexos com grande número de componentes acopladas ao acaso, que, *sem a intervenção* dos mecanismos de selecção do neo-darwinismo (uma doutrina científica que resultou do casamento entre o darwinismo e a genética molecular), podem, espontaneamente, gerar a ordem. A título de exemplo o leitor é convidado a debruçar-se sobre a explosão do Câmbrio, ou... sobre o surgimento das bicicletas: ora com roda grande à frente e roda pequena atrás, ou com roda pequena à frente e roda grande atrás; uma verdadeira explosão de formas. Pouco após uma inovação é sempre fácil ser-se original, mas somente através de contribuições modestas. A selecção natural surge como mecanismo de optimização, não sendo necessária para explicar a emergência das estruturas em geral, nem das bicicletas em particular.

Deixem que descreva uma das experiências computacionais que percorrem o livro. Trata-se de uma experiência com grafos aleatórios. Crave um certo número de tachas no soalho. Aleatoriamente escolha duas tachas e atas com um fio. Prossiga com esta actividade... À medida que o número de conexões aumenta, aumenta correspondentemente a probabilidade de uma tacha já usada uma vez ser de novo escolhida. Obtêm-se assim caminhos

maiores no grafo. Ora bem, o fenómeno importante a respeito dos grafos aleatórios ocorre quando a razão de arestas/nós (fios/tachas) passa pelo valor crítico de 0,5. Neste ponto (de *fusão*), forma-se subitamente um aglomerado gigante de tachas conectadas. Acima do ponto de *fusão*, o aglomerado gigante continua a crescer (até ao valor limite de N para um grafo de N nós) mas a razão de crescimento diminui acentuadamente. A este fenómeno dão os físicos o nome de transição de fase: uma mudança súbita no comportamento de um sistema.

Que pode levar-nos a jogar um tal jogo? Talvez a descoberta de François Jacob e Jacques Monod (nos anos 50) de como a actividade genética das células é regulada por sinais de outros genes e pelo ambiente. Kauffman brinca com grafos porque os grafos são os esqueletos dos espaços celulares de autómatos que descrevem teias genéticas. As analogias agora decorrem da tipologia das experiências. Buscando então referentes putativos para os símbolos matemáticos, Kauffman introduz as redes de reacções químicas auto-catalíticas, onde a transição de fase é interpretada, primeiro como a formação de moléculas capazes de criar moléculas à sua imagem, depois, como a origem da vida e, mais tarde, como a diferenciação celular durante a epigénese.

Mas, facto surpreendente, nem é preciso saber muito de Química ou de Biologia para compreender, pois, afinal, as leis dos sistemas complexos surgem aos nossos olhos como mais fundamentais e imperativas que as da própria Química ou Biologia... Acontece que estas ciências satisfazem os requisitos da especificação daquelas leis. As leis dos sistemas complexos ganham então forma e tornam-se artefactos da natureza.

Temos assistido a uma multiplicação de metáforas que ajudam a entender um pouco o Universo em que vivemos, pelo que não é difícil ao leitor, educado na analogia, substituir partículas elementares por patinadores numa pista de gelo, interações por bumerangues, universos por balões. Kauffman enriqueceu ainda mais esta linguagem abrindo o caminho a novas e poderosas intuições acerca da evolução das estruturas do Universo. Em *At Home in the Universe*, Stuart Kauffman concebeu uma versão simplificada de *The Origins of Order*, deixando-se seduzir por um novo sentido do sagrado que emana da nova ciência, na contemplação da ordem na complexidade, e da criatividade intrínseca da natureza.

A estrutura do livro é a seguinte. Após uma introdução cuidada (*At Home in the Universe*) às suas ideias e linhas de argumentação, Kauffman

dedica o capítulo segundo (*The Origins of Life*) à questão da origem da vida, seu enunciado e teses principais, dos coacervados de Oparin aos argumentos vanguardistas da panspermia de Hoyle e Wickramasinghe. No capítulo terceiro (*We the Expected*), Kauffman explora a transição de fase em grafos aleatórios, aplicada a redes de reacções químicas e à inevitabilidade da emergência dos conjuntos autocatalíticos. O capítulo quarto (*Order for Free*) aprecia os requisitos mínimos necessários à emergência da ordem e das estruturas e, conseqüentemente à morfogénese, no limiar do caos. Os instrumentos de trabalho são espaços celulares com topologias (vizinhanças) variáveis, cuja dinâmica global indicia um conjunto mínimo de regras, com referência aos trabalhos de Bak e Tang sobre os sistemas criticamente organizados. No capítulo quinto (*The Mystery of Ontogeny*), Kauffman aplica conceitos e técnicas do capítulo precedente para investigar, à luz da organização no limiar do caos, as redes genéticas de Jacob e Monod, explicando em detalhe os referentes putativos, nomeadamente o célebre exemplo da adição de lactose à cultura de *Escherichia coli*. Os detalhes aproveitam então a uma magnífica exposição do tema da diferenciação celular, bem como aos resultados do próprio autor sobre as leis de organização biológica. Os aspectos críticos dos sistemas complexos são abordados no capítulo sexto (*Noah's Vessel*), a respeito da explosão de diversidade das espécies químicas em direcção à vida (celular). No capítulo sétimo (*The Promised Land*), a evolução molecular é aplicada à biotecnologia, nomeadamente no contexto do projecto do genoma humano e da síntese de fármacos de regulação da actividade genética. O capítulo oitavo (*High-Country Adventures*) é dedicado a mecanismos computacionais da evolução, responsáveis pelos mecanismos de adaptação de espécies, com particular relevo para a mutação e algumas leis da genética de populações, onde a selecção assume papel relevante. No capítulo nono (*Organisms and Artifacts*), são tratadas, comparativamente, as explosões de diversidade no mundo natural e nas revoluções tecnológicas. No capítulo décimo (*An Hour upon the Stage*), a teoria dos jogos é aplicada à evolução, ou melhor à evolução da coevolução, em particular para explicar extinção de espécies. No capítulo décimo primeiro (*In Search of Excellence*), Kauffman abstrai a universalidade e as metáforas para regressar, no último capítulo (*An Emerging Global Civilization*), aos modelos de sociedades que transpiram, afinal, as leis da complexidade, que agora espreitam na emergência, e conduzem a um novo sentido do sagrado em ciência, advogado por Kauffman.

Para rematar, deixem que lhes diga como aprofundar as temáticas evocadas por *At Home in the Universe*. Muito recentemente, autómatos celulares e maquinismos congéneres foram alvo de muitas investigações experimentais e motivaram já a emergência de sistemas de computação paralela (tais como a *connection machine*). Em particular abriram portas a novos projectos de investigação, onde são estudados universos físicos e biológicos imaginários, resultando tudo isto numa interacção muito benéfica entre a física e a computação e entre a biologia e a computação. Entre muitos outros periódicos, destaca-se o *Journal of Complex Systems*, concebido como *forum* de autómatos celulares. Recentemente surgiu o *Complexity International: a Hypermedia Journal of Complex Systems Research*, acessível na *Internet*, que é responsável por uma rápida disseminação de papéis sobre sistemas complexos. Também o projecto *Tierra* contém um subprojecto *CAM-brain* cujo objectivo é fazer evoluir um cérebro artificial, que contém milhares de módulos de redes neuronais, num hardware específico designado por *Cellular Automata Machines*.

J. Félix Costa
Centro de Ciências da Complexidade
Faculdade de Ciências de Lisboa
Rua Ernesto de Vasconcelos, 1700 Lisboa
fgc@di.fc.ul.pt